

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-174077

(P2000-174077A)

(43) 公開日 平成12年 6 月23日 (2000. 6. 23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	A 2 G 0 3 2
G 0 1 R 31/302		G 0 1 R 31/28	L 4 M 1 0 6
			9 A 0 0 1

審査請求 有 請求項の数21 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-348988

(22) 出願日 平成10年12月 8 日 (1998. 12. 8)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

(72) 発明者 山田 恵三

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100065385

弁理士 山下 義平

Fターム (参考) 2G032 AA01 AD01 AF08

4M106 AA01 AA02 AA07 AB07 BA02

CA39 DA14 DH01 DH16 DH33

DH38 DH60 DJ01 DJ04 DJ14

DJ20

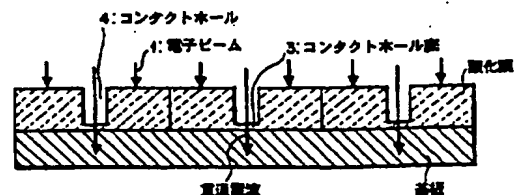
9A001 LL05

(54) 【発明の名称】 半導体ウェハーの検査方法

(57) 【要約】

【課題】 コンタクトホールの検査時間を短縮する方法を提供する。

【解決手段】 複数のコンタクトホールを有する半導体ウェハーの検査方法において、前記半導体ウェハーを所望の複数の第1の領域に区分けして、各第1の領域に電子ビームを照射して、各第1の領域中のコンタクトホールを貫通する電子ビームの電流値を測定し、その電流値をしきい値と比較する所望のことににより前記第1の領域中の複数のコンタクトホールのうち正常に形成されていないコンタクトホールの割合を検査することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のコンタクトホールを有する半導体ウェハの検査方法において、前記半導体ウェハを所望の複数の第1の領域に区分けして、各第1の領域に電子ビームを照射して、各第1の領域中のコンタクトホールを貫通する電子ビームの電流値を測定し、その電流値を所望のしきい値と比較することにより前記第1の領域中の複数のコンタクトホールのうち正常に形成されていないコンタクトホールの割合を検査することを特徴とする半導体ウェハの検査方法。

【請求項2】 前記複数の第1の領域を、さらに、その領域より小さい複数の第2の領域に区分けして、各第2の領域に前記電子ビームを照射して、各第2の領域中のコンタクトホールを貫通する電子ビームの電流値を測定し、その電流値を所望のしきい値と比較することにより前記第2の領域中の複数のコンタクトホールのうち正常に形成されていないコンタクトホールの割合を検査することを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項3】 前記第1の領域の大きさを半導体チップの大きさと同様の大きさとすることを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項4】 前記第1の領域の大きさを前記半導体チップに搭載するメモリなどの半導体デバイスの大きさと同様の大きさにすることを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項5】 前記複数の第1の領域に、互いに他の第1の領域と識別可能のように番号を付したことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項6】 前記複数の第2の領域に、互いに他の第2の領域と識別可能のように番号を付したことを特徴とする請求項2に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項7】 前記電流値の大きい順あるいは小さい順に前記第1の領域を並べ、その順序に従って前記各第1の領域中のコンタクトホールを1つずつ検査することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項8】 前記電流値の大きい順あるいは小さい順に前記第2の領域を並べ、その順序に従って前記各第2の領域中のコンタクトホールを1つずつ正常に形成されているか否かを検査することを特徴とする請求項2に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項9】 複数の離れた場所にある前記第1の領域を集合体としてとらえ、その集合体に電子ビームを照射して、該集合体中のコンタクトホールを貫通する電子ビームの電流値を測定し、その電流値をあらかじめ定めしきい値と比較することにより前記集合体中の複数のコンタクトホールのうち正常に形成されていないコンタクトホールの割合を検査することを特徴とする請求項1に

記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項10】 前記第1の領域に照射する前記電子ビームの照射量を前記第1の領域中のコンタクトホールの数量に応じて変更することを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項11】 前記電子ビームの照射量の変更は、前記電子ビームの照射位置情報と、前記半導体基板の位置情報と、半導体回路のレイアウト情報とから、前記複数の第1の領域のうち前記電子ビームを照射する第1の領域を識別して、該第1の領域ごとに変更することを特徴とする請求項10に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項12】 前記複数の第1の領域のうち、不良コンタクトホールを有する頻度が高い領域から検査を行うことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項13】 前記複数の第2の領域のうち、不良コンタクトホールを有する頻度が高い領域から検査を行うことを特徴とする請求項2に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項14】 前記半導体ウェハ中心からの該半導体ウェハの半径方向につれて検査を行う順番に重みを付けることを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項15】 前記半導体ウェハとそれを搬送する半導体ウェハ搬送機とが接触する箇所に近いほど検査を行う順番に重みを付けることを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項16】 前記第1の領域を貫通する前記電子ビームの電流値に対応したビットマップを得ることを特徴とする請求項1に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項17】 前記第1の領域に占める不良コンタクトホールの割合がしきい値以上である場合に、前記第1の領域中のコンタクトホールの数量を数えると共に、その第1の領域中のコンタクトホールの検査を終了することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項18】 前記第2の領域に占める不良コンタクトホールの割合がしきい値以上である場合に、前記第2の領域中のコンタクトホールの数量を数えると共に、その第2の領域中のコンタクトホールの検査を終了することを特徴とする請求項2に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項19】 前記第1の領域を貫通する前記電子ビームの電流量の分布から前記電流量の平均値および標準偏差等を計算し、半導体製造プロセスの変動を検出することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の半導体ウェハの検査方法。

【請求項20】 前記第2の領域を貫通する前記電子ビームの電流量の分布から前記電流量の平均値および標準偏差等を計算し、半導体製造プロセスの変動を検出する

ことを特徴とする請求項2に記載の半導体ウェハーの検査方法。

【請求項21】 前記プロセス変動量がしきい値を超えたとき、プロセス異常を知らせるための警告信号を発生することを特徴とする請求項17に記載の半導体ウェハーの検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は複数のコンタクトホールを有する半導体ウェハーの検査方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、半導体基板には、コンタクトホールと呼ばれる穴を多数設けている。コンタクトホールとは、異なった導体層間を電気的に導通するために、シリコン酸化膜などの絶縁膜に設ける直径が0.2ミクロンよりも小さな穴をいう。コンタクトホールは、通常RIE等のエッチングによってシリコン酸化膜に形成するが、穴の深さと直径との比であるアスペクト比率は年々変遷する傾向にあり、形状はより長細い形状となっている。

【0003】 コンタクトホールの形状は、エッチング工程が終了した後に判断する。通常、正しい諸条件でコンタクトホールを形成すると、基板に貫通した穴ができる。しかし、諸条件が正しく設定されていないと、基板に穴が貫通せず酸化膜が底に残ってしまう。

【0004】 そのため、コンタクトホールを形成した半導体装置に電子ビームを注入して、半導体基板を貫通する電流を測定してシリコン酸化膜の有無（厚み）を求めることによって、コンタクトホールが基板を貫通するように形成されているか否かを求める手法がある。この手法は、ウェハー内に形成された全ての微細な穴1つ1つに対して逐次電子ビームを注入し、あらかじめ定めた基準値と貫通する電子ビームの電流値とを比較して、その値が基準値よりも大きいかなにかによってエッチングの良否を決定することが行われている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、近年、半導体基板の微細加工技術は進歩し、億を超える無数の微細なコンタクトホールを1枚の基板の上に形成している。コンタクトホールの個数は、5年で1桁づつ増大している。この穴を1つずつ検査するには、非常に多くの時間を要する。そのため、実用的な枚数のウェハーを測定することは困難である。

【0006】 また、現在、多くのコンタクトホールを短時間で測定できるような検査装置がなく、たとえば数ロットのうち1枚のウェハーを抜き取って、そのウェハーのコンタクトホールの検査を行っている。したがって、プロセス管理に必要とされる統計的に有効な検査量が確保できていない。

【0007】 さらに、半導体基板にコンタクトホールが

存在していても、検査に多大な時間を必要とするため、不良コンタクトホールを発見するまでに時間を強いられやすく、不良コンタクトホールを発見した後すぐに、製造プロセスを保守するためのフィードバック処理を施すことができないという課題がある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上記の課題を解決するために、本発明は、複数のコンタクトホールを有する半導体ウェハーの検査方法において、前記半導体ウェハーを所望の複数の第1の領域に区分けして、各第1の領域に電子ビームを照射して、各第1の領域中のコンタクトホールを貫通する電子ビームの電流値を測定し、その電流値を所望のしきい値と比較することにより前記第1の領域中の複数のコンタクトホールのうち正常に形成されていないコンタクトホールの割合を検査することを特徴とする。

【0009】 すなわち、本発明は、半導体ウェハーを複数の領域に分割して、その領域ごとに領域に含まれるコンタクトホールが正常に形成されているか否かを検査する。

【0010】

【発明の実施の形態】 以下、この発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0011】 まず、半導体装置のコンタクトホールが形成されているか否かを検査する手法について説明する。コンタクトホールが正しく形成されているか否かを検査するには、一般に、2つの手法がある。1つは、酸化膜をエッチングした半導体基板に、電子ビームを照射して、コンタクトホールを貫通する電子ビームの電流値を測定して検査する手法であり、他は、酸化膜をエッチングした半導体基板に、電子ビームを照射して、正常に形成されず貫通していないコンタクトホールの底および半導体基板の表面からの二次電子量を測定して検査する手法である。

【0012】 図1は貫通する電子ビームの電流値を測定してコンタクトホールが形成されているか否かを検査する手法を示す図であり、複数の貫通していないコンタクトホール4を形成した酸化膜を備える半導体基板に、電子ビーム1を照射すると、コンタクトホール4の底を電流が貫通する。この貫通電流2の電流量を測定して、コンタクトホール4が正常に形成されているか否かを求める。

【0013】 すなわち、この手法では、エッチングされたコンタクトホール4は、他の領域に比べて酸化膜が薄いため、電子ビームが貫通する。貫通電流2は、個々のコンタクトホール底3を貫通する貫通電流の和となり、コンタクトホール4の個数に比例した電流となる。

【0014】 一方、図2は二次電子量を測定してコンタクトホールが形成されているか否かを検査する手法を示す図であり、複数の貫通していないコンタクトホールを

形成した酸化膜を備える半導体基板に、電子ビーム21を照射すると、コンタクトホール底26および酸化膜表面22から各々二次電子25および23が発生する。この二次電子の数(二次電子量)を測定して、コンタクトホールが形成されているか否かを検査する。

【0015】一般に、コンタクトホール底26の面積よりも、酸化膜表面22の面積の方が広いので、検出される二次電子23、25のうち二次電子25の割合は小さい。

【0016】しかも、酸化膜表面22の面積は、コンタクトホール底26の面積と相対関係がないものなので、二次電子量25の測定位置を変えると、コンタクトホール底26の酸化膜の厚みとは関係ない二次電子信号を得ることになる。

【0017】そこで、以下に示す実施形態では、電子ビーム1を基板に照射して、コンタクトホール4を貫通する貫通電流2を測定してコンタクトホールが形成されているか否かを検査するという、図1に示す手法を採用する。

【0018】また、半導体基板の製造工程において、不良コンタクトホールの発生頻度は、半導体基板の量産製造初期を除くと極めて少ない。したがって、デバイスが形成されている殆どの基板のコンタクトホールは良品であり、コンタクトホールを1つ1つ全てを検査することは無駄が多い。

【0019】すなわち、従来の検査方法は、全てのコンタクトホールを1つ1つ全てを検査する、いわゆる総当たり方式を採用していたが、この実施形態では、コンタクトホールをいくつかのブロック(領域)に分けて、ブロックから生じる貫通電流を求め、不良コンタクトホールがありそうな領域から検査を行って、短時間で効率よく不良コンタクトホールを検出しようとする。

【0020】具体的には、ウエハーをいくつかのブロックに分け、各ブロックに電子ビームを照射して、各ブロック中のコンタクトホールを貫通する電流の電流値を、あらかじめ設定した良品のコンタクトホールのしきい値と比較して、両者のずれを検出し、ずれが大きい場所から先に検査を行う。コンタクトホールが良好に形成されている場合に、そのコンタクトホールに特定の加速電圧で加速した一定量の電子ビームを注入した場合、1つのコンタクトホールから生じる貫通電流量の最大値を $i_{max}$ とすると、N個のコンタクトホールからなるブロックの最大貫通電流量 $I_{max}$ は最大貫通電流量 $i_{max}$ のN倍である。

【0021】そのため、検査対象のブロックに含まれるコンタクトホールの一部が不良コンタクトホールであるとする、そのブロックを貫通する貫通電流量は、 $I_{max}$ よりも小さな値となる。したがって計測された貫通電流値 $I_{mes}$ が、最大貫通電流量 $I_{max}$ よりも小さければ小さいほど不良のコンタクトホールの数が多く、そのブロック

にはおよそ $N * (I_{max} - I_{mes}) / I_{max}$ 個の不良コンタクトホールが存在することになる。

【0022】上記の検査手法は、ウエハーを、まずチップサイズあるいは1つのチップの中にある機能ブロック程度の大きさを有するブロックに分割して、各々のブロックに番号を付ける。検査対象のブロックに垂直な電子ビームを順次当てて、そのブロック中のコンタクトホールを貫通する貫通電流を測定する。測定した貫通電流の多い順番にブロックを並べる。貫通電流値が小さいブロックほど、そこに含まれるコンタクトホールが正常に形成されていないので、貫通電流値が小さいブロック内のコンタクトホールから先に詳細な検査を行う。

【0023】また、1つのブロックは、さらに小さなサブブロックに分ける。サブブロックサイズは、100ミクロン角よりも小さくする。それぞれのサブブロックには、お互いに識別できるように番号を付している。1つのブロック内のサブブロック全体に、逐次電子ビームを照射し、貫通電流値を測定する。そして、貫通電流値が小さい順番にサブブロックを並べる。

【0024】サブブロックサイズは、100ミクロン角よりも小さいので、測定した貫通電流値をウエハー上の各々のサブブロックに相当する位置に表示すると、ウエハー内の不良分布を示すビットマップが得られる。

【0025】ビットマップを統計計算すると、貫通電流値の平均値あるいは標準偏差等の値が得られる。さらに、特定の不良コンタクトホールの存在箇所を検出するには、不良コンタクトホールがあるとされたサブブロックを選択して、そのサブブロックを構成するコンタクトホールの1つ1つに電子ビームを当て、それぞれのコンタクトホールの良否の検査を行い、不良コンタクトホールを識別する。

【0026】このように、コンタクトホールをブロック、サブブロック、個々のコンタクトホールの順に、階層的に検査を進めることによって、不良コンタクトホールが無い場所を検査する手間を省いて検査時間を短縮する。

【0027】また、大量の半導体ウエハーに発生した不良コンタクトホールを統計的に分析した結果から、エッチング処理した後に不良コンタクトホールが発生する場所には、法則性があることが確認されている。不良コンタクトホールの発生する場所は、ウエハーの一定の領域である場合が多い。そこで、その分析結果を利用して、不良コンタクトホールの発生頻度の高い場所から検査を行う。このことによって、半導体基板に形成したコンタクトホールを検査する時間を短くする。

【0028】さらに、各ブロックごとに有するコンタクトホール数が異なるので、ブロックのレイアウトの仕方によっても、エッチング不良の発生頻度が大きく影響することが分かっている。そのため、不良コンタクトホールが発生しやすいブロックを選定して、その場所を優先

10

20

30

40

50

的に検査する。

【0029】また、量産時のウエハー検査は、所定の基準値以上の不良コンタクトホール数を有するウエハーを確認したら、そのウエハーを製造ラインからはずす、あるいは、不良コンタクトホールの発生場所が高頻度領域から検査する等のために利用されている。したがって、不良コンタクトホール数が所定の基準値未満であるブロックは、製造ラインを素通りさせ、不良コンタクトホール数が所定の基準値以上であるブロックは、その領域を重点的に調査して検査時間を短縮する。

【0030】（実施形態1）実施形態1について図3～図5を参照して説明する。この実施形態ではコンタクトホールをブロック単位に分けて、各ブロックごとにコンタクトホールが正常に形成されているか否かを検査する。図3はウエハーを複数のブロックに分け、各々のブロックに番号を付したものの模式図であり、ウエハー31を最終的にスクライブして分割される領域をブロック32として定義し、それぞれのブロック32に、お互いを識別できるように番号を付している。

【0031】図4はブロック32ごとに、そのブロックのコンタクトホールを貫通する貫通電流値41を示した図である。図5は貫通電流値41の大きい順にブロック32に付した番号を並べた図である。

【0032】図3に示すそれぞれのブロック32に、一定の加速電圧で加速した一定量の電子ビームを順次照射して、それぞれのブロック32の貫通電流値41を測定する。貫通電流値41は、たとえば、ブロック03、12、16では、図4に示すように53pAという最も小さな値である。これらのブロックに含まれるコンタクトホールは、底が貫通したものが少なく、コンタクトホール底には、酸化膜が多く残っており、図5に示すように不良コンタクトホールの割合が他のブロックより多い。

【0033】さらに細かい不良コンタクトホールの分布を検査するときは、不良コンタクトホールの多いブロック03、12、16を、さらに複数のサブブロックに分けて、サブブロックごとに測定する。一方、不良コンタクトホールが無いと判断されたブロックに関してはそれ以上詳細な検査を行わない。

【0034】したがって、たとえば、不良コンタクトホールが無いと推定されたブロックが、半導体ウエハーの総面積の9割であるとする、残りの1割の面積に相当する場所についてのみ詳細に検査を行えばよい。すなわち、かかる場合には、コンタクトホールを1つずつ検査する場合に比して、検査速度は約10倍向上する。

【0035】また、上述のように、計測した貫通電流値を $I_{mes}$ とし、良品コンタクトホールのみが存在する場合の貫通電流量を $I_{max}$ として、これらの貫通電流値を比較すると、ブロックごとに存在する不良コンタクトホールの割合が分かる。さらに、図4のようにブロックごとに貫通電流値を示した分布図からウエハー面内における不

良コンタクトホールが生じやすい領域が分かる。

【0036】たとえば、貫通電流値 $I_{max}$ が56pAであるとしたときに、ブロック24の貫通電流値を $I_{mes}$ は56pAなので、完全にエッチングがされていると推定することができる。ブロック16の貫通電流値を $I_{mes}$ は53pAなので、少なくとも5.4%の領域に不良があると推定できる。

【0037】また、あるブロックの不良コンタクトホール数が基準値以上である場合は、そのブロックに付した番号とともに、そのブロックに不良コンタクトホールがある旨を、今後の統計に用いるデータとして記録する。

【0038】（実施形態2）つぎに、実施形態2について図6～図8を参照して説明する。実施形態2は、実施形態1で説明したブロック32をさらに複数の小さいサブブロックに分け、サブブロックごとにコンタクトホールが正常に形成されているか否かを検査するものである。

【0039】図6はブロック32をさらに分けた複数のサブブロック62を示す図である。図7は測定した貫通電流値41を各サブブロック62に示したものである。図8は貫通電流値41の大きい順にサブブロック62を並べた図であり、各々のサブブロック62に付した番号と対応させて並べている。

【0040】図6に示すように、各々のサブブロック62には番号を付している。サブブロック62の大きさは任意であるが、1つのサブブロックの大きさが10～100ミクロン程度になるようにすると、貫通電流量の分布図が見やすいと考えられる。この実施形態では、非常に大きなサブブロックの場合を例としている。

【0041】サブブロック62に、番号順に電子ビームを照射して、各々のサブブロック内のコンタクトホールを貫通する電子ビームの電流値を測定する。各サブブロック62に照射する電子ビーム量は、単位コンタクトホール当たり、一定の基準量になるように設定する。つまり、サブブロックの面積が大きければ、照射する電子ビーム電流量は多く、逆に小さければ少なくする。

【0042】測定した貫通電流値41は、たとえば、図7に示すように各サブブロック62に示したようになる。次に、図8に示すように、貫通電流値41の大きい順に、サブブロック62を並べる。ここで、図8に示すように、貫通電流値41を2桁という少ない桁数で表すと、各ブロックの順位に差がつかず、有効な重み付けができない場合がある。その場合には測定される電流値を表す桁数を増やして、有効な順位付けができるようにする。

【0043】図8に示すように、サブブロック番号11、21が最も小さな貫通電流値である10pAを示し、他のサブブロックと比較してこのサブブロックに最も不良コンタクトホールが多いことが分かる。サブブロック程度の大きさ（10～100ミクロン）で、不

良コンタクトホールが存在する割合をウエハーサイズで画像表示すると、一般にメモリ等の不良管理に利用されているビットマップが得られ、そのパターンから不良コンタクトホールが生じる原因を推定できる。

【0044】すなわち後述するように、ビットマップから、たとえばコンタクトホールを形成するエッチング装置によって不良コンタクトホールが生じたり、半導体ウエハーを搬送する搬送装置によって不良コンタクトホールが生じたりというように、不良コンタクトホールが生じる原因を推定することができる。

【0045】ウエハー全体で見れば、ブロック一辺の大きさを10ミクロン角にとると、サブブロックの個数は $10^8$ 個であり、100ミクロン角でとつても $10^6$ 個あり、これらの測定値からは、8桁ないしは6桁の正確性でプロセス変動を測定できる。現在のビットマップが、単純にごみあるいはパーティクルの有無という1ビットの情報しか表示していないことを考慮すると、シリコン酸化膜の残存量そのものが、数桁のアナログ値として測定できるこの手法では、測定するコンタクトホールが少ないサブブロックの検査で統計的に有意な検査ができる。

【0046】（実施形態3）実施形態3について図9を参照して説明する。実施形態3は、各チップに存在する半導体デバイスの大きさと同様の大きさにブロックを分け（以下、このように分けたブロックを機能ブロックと称する）、機能ブロックごとにコンタクトホールが正常に形成されているか否かを検査するものである。また、実施形態1などと同様に検査する順番に重み付けをする。

【0047】システムASIC (application specific integrated circuit; 特定用途向けIC) 等は、CPUコア、DRAM、SRAM等のメモリ、あるいは外部チップとの通信を行うためのインターフェイスコア等が作り込まれている。一般に、それぞれの半導体デバイスは、同一の周波数で動作することは極めて稀であり、出力電流、消費電力も異なる。

【0048】そのため、それぞれの半導体デバイスごとに、フィーチャーサイズが異なるので、各機能ブロックごとにコンタクトホールのサイズが異なり、コンタクトホールの作製難度は異なる。そこで、本実施形態では、各機能ブロックごとにたとえばブロックA、B、C等の名前（番号）を付け、各機能ブロックごとにコンタクトホールの検査を行う。たとえば、ブロックA、B、Cのうち、ブロックAのコンタクトホールの作製が最も困難なブロックであると分かっている場合には、ブロックAを他のブロックよりも優先的に検査する。

【0049】特に、検査時間が制限されている場合には、不良コンタクトホールの存在する頻度の高いブロックに検査対象を絞って検査を行えば、より効率的にコンタクトホールの有無を検査することができる。

【0050】これらのブロックA、B、Cは、同様の大きさと分けられた他の位置にある各ブロックA、B、Cとともに集合体としてとらえてもよい。すなわち、たとえばメモリ領域の大きさに分けたブロックのすべてを1つの検査対象に設定してもよい。また、特定のコンタクトホールが形成されている領域、あるいはコンタクトホール形成密度が一定以上の領域等で指定をしてもよい。このため、たとえば、ブロックAの占有する面積が、全面積の100分の1であれば、検査速度は100倍速くなる。

【0051】（実施形態4）図10は各ブロックあるいは各サブブロックに、電子ビームを照射する照射装置を示す図である。ここで、一般に、電子ビームをコンタクトホール内に照射するためには、電子ビームをコンタクトホールに対して水平に入射する必要がある、かつ、ウエハーの広範囲の領域でその条件が保たれている必要がある。

【0052】通常のSEM (scanning electron microscope; 走査型電子顕微鏡) で使われている電子ビーム走査法のように、1つの偏向電極で左右あるいは前後に電子ビームを走査すると、電子ビームはウエハーに対して垂直でない入射角になり、広い範囲に照射された電子ビームはコンタクトホール内には照射できない。

【0053】そのため、本実施形態では、電子銃101から照射する電子ビーム103を、レンズ102で平行な電子ビームにする。その後、平行な電子ビームを開口部面積が変更可能な可変アパチャー104に入射し、所望のブロックあるいはサブブロックに電子ビーム103を照射する。

【0054】電子ビーム103は、それぞれのブロックなどに存在するコンタクトホールを通過して、ウエハー裏面に設けられた電極106に到達し、その電流は電流計107によって測定される。

【0055】（実施形態5）図11は各ブロックに当てる電子ビーム電流量を示したものである。各ブロックは面積が異なるため、良好なS/N比で検査を行うためには、各コンタクトホールごとに照射される電子ビーム量が、一定となるように電子ビームの照射電流量を調節する必要がある。その照射電流量は、たとえば図11に示すように、ブロックAは10pA、ブロックBは50pA、ブロックCは100pAとする。

【0056】可変アパチャー104（図10）を用いた平行電子ビーム源を用いた場合には、電子ビーム103のビーム密度は、可変アパチャー104の面積に無関係に一定となる。しかし、実際に製造されるコンタクトホールの密度は、ブロックの面積の増減に対して必ずしも一定でない。

【0057】そこで、それらが変化しても、必要とされる桁数の精度でウエハー105内のコンタクトホールを貫通する電子ビームの電流量が測定できるように、電子

銃101から発生する電子ビーム103のビーム量を調節する。また、照射電子ビーム量を増加することだけでなく、計測器の入力換算ノイズを減少することによって一括して測定できるブロックの範囲を広げることができる。

【0058】（実施形態6）図12は測定領域ごとに電子ビームの量を変える手順を示したフローチャートである。コンタクトホール検査は、ウエハー単位で行われる。ウエハーは二次元に移動可能なXYステージの上に載せられており、ウエハー移動を行って測定対象領域に電子ビームを当てられるように制御されている。

【0059】検査装置には、ウエハー表面に形成されているデバイスのレイアウト情報が、あらかじめ設定されており、電子ビームが照射されているブロックが、どのブロックに相当するのかを判断することができる構成になっている。

【0060】本図では、A、B、Cの3つのブロックを設けた場合に、電子ビーム照射量をブロックによって変更する手順を示している。まず、XYステージを移動させる。そして、電子ビームが照射される位置が、ブロックAの場合には、図11に示すように、たとえば電子ビーム照射量を10PAとする。

【0061】一方、電子ビームが照射される位置が、ブロックAで無い場合には、その位置がブロックBであるかどうかを、レイアウト情報とステージの位置情報とから判断する。領域がBのときはたとえば50PAとする。

【0062】また、同様に、電子ビームが照射される位置が、ブロックBで無い場合には、その位置がブロックCであるか否かを判断され、ブロックCの場合には照射量をたとえば100PAとし、いずれのブロックでもないときには、照射量をたとえば1PAとする。このように、XYステージの位置情報とレイアウト情報とから電子ビーム照射量をブロックの種類に適した電子ビーム量に変更する。

【0063】（実施形態7）図13はエッチング装置に依存するコンタクトホールの不良分布特性を考慮した重み付けを示した図である。一般に、シリコン酸化膜に、RIE等によるエッチング技術を用いてコンタクトホールを形成すると、エッチング装置の大きさは有限であるため、ウエハーは半径方向に進むにつれ異常プラズマの影響が表れる。

【0064】通常、プラズマエッチングは、プラズマ発生用の電極に処理ウエハーを対向配置して行う。電極の面積は有限であり、真空チャンバー等の入れ物の大きさも有限である。そのため、ウエハー中心部131では安定したプラズマの発生が得られるが、端部132では異常プラズマの発生が起こる場合がある。

【0065】そのような場合には、コンタクトホールの不良発生頻度が、同心円状に変化する場合が多い。特

に、ウエハー中心部131よりもウエハー端部132に不良コンタクトホールが多く発生すると考えられる。そのため、ウエハー中心部131よりもウエハー端部132に高い重み付けを行って検査の順番を定める。

【0066】たとえば、図5で示したように、ブロックごとの貫通電流値が、有効数字以内で同じであるものが多数生じた場合、ウエハー中心部131にあるブロックよりもウエハー端部132にあるブロックの方を、先に検査する。もちろん、プロセスによっては、ウエハーの中心部131のみに不良が大量に発生する場合もある。その場合には逆に、ウエハーの中心部131に高い重み付けを行って、検査順序を定める。

【0067】なお、図13は、説明の便宜上、中心部131と端部132とを一律に分けて示しているが、これらを明確に分け隔てる境界線などがあるのではなく、実際には、ウエハーは、中心から半径方向に移動するにつれて、エッチング装置の影響を受けやすい。

【0068】（実施形態8）図14は半導体ウエハーの搬送装置に依存したコンタクトホール不良の不良分布特性を考慮した重み付けを示した図である。通常、半導体工場で量産処理されてる半導体ウエハーは、種々の搬送手段によって搬送されている。一般的に、半導体ウエハーは何十枚からなる1ロット単位ごとに、ウエハーカセットに収められ搬送装置によって、つぎの処理装置などに搬送される。

【0069】搬送されたカセットに収められたウエハーは、1枚ずつ処理を行うために、搬送装置によってカセットから取り出され、処理装置の内部へと運ばれる。このとき、ウエハーと搬送装置とは、必ず接触する。したがって、ウエハーと搬送装置とが接触する接触領域141付近は、他の領域と比べると、ごみが付着したり、傷が生じるということが起きやすい。そのため、接触領域141には、不良コンタクトホールが多く存在しやすい。

【0070】そこで、搬送装置が、ウエハーに接触する領域141の周辺を、他の領域に比較して高い重み付けを行い、他の領域よりも優先的に検査を行う。

【0071】（実施形態9）図15はサブブロック151中の正常なコンタクトホール152及び不良コンタクトホール153を示した図である。サブブロック151内にあるコンタクトホールが良品である場合は、そのコンタクトホールに一定量の電子ビームを注入したときに、貫通する貫通電流量の最大値を $i_{max}$ とすると、N個の同一形状コンタクトホールを有するサブブロック151を貫通する最大貫通電流量 $I_{max}$ は、最大電流量 $i_{max}$ のN倍である。このことは、実施形態の冒頭で述べたことである。

【0072】たとえば、図15に示すように、検査されるサブブロック151に、1つの不良コンタクトホール153が存在すると、サブブロック151内のコンタク

トホールを貫通する電流量は、最大でも $I_{\max}-I_{\min}$ となる。貫通電流値 $I_{\text{mes}}$ が、最大電流量 $I_{\max}$ よりも小さければ小さいほど、不良のコンタクトホール数が多い。また、サブブロック領域151には、少なくとも $N \cdot (I_{\max}-I_{\text{mes}})/I_{\max}$ 個の不良コンタクトホールが存在する。

【0073】あるサブブロックに不良コンタクトホールが存在するときは、そのサブブロックに付した番号とともに、そのサブブロックに不良コンタクトホールがある旨を、今後の統計に用いるためのデータとして記録する。

【0074】また、電子ビームを照射したサブブロック中のコンタクトホールのうち、不良コンタクトホールの占める割合が、所定の基準値以上の場合には、そのサブブロックが不良領域であると推定する。なお、この推定は、照射されている電子ビーム量に対応してコンタクトホールを貫通する貫通電流の量と貫通電流を計測する計測器のノイズとの比率で決定される。

【0075】たとえば、計測された貫通電流値が1 nAで、計測器のもつ電流ノイズ1 pAのときには、計測器は3桁の精度で貫通電流値を計測できる。この場合には、1000個のコンタクトホールの中で1つのコンタクトホールが不良であれば検出できる。

（実施形態10）図16は半導体ウエハーに、二次元に電子ビームを当てるための電子ビーム走査装置を示す図である。電子銃161からウエハー163に向かって面状の電子ビーム162が垂直に照射される。ウエハー163は、ステッピングモータ165、166あるいはピエゾアクチュエータ等の駆動原理を用いたXYステージ164の上に載せられている。

【0076】XYステージ164は、ブロック単位あるいはサブブロック単位に、電子ビーム照射位置が変わるように移動させる。移動距離の測定には、ステッピングモータへ供給する駆動パルス数やピエゾアクチュエータに加えた電圧、あるいはレーザーを用いた移動距離測定から求める。

【0077】たとえば、電子ビーム162を照射する最初のブロックの中心座標と電子ビーム照射領域の中心とを一致させるように、XYステージ164を調節する。次いで、電子ビーム162を1つのブロックに照射して貫通電流を測定したのち、隣のブロックの中心座標と電子ビーム照射領域の中心とを一致させるように、XYステージ164を移動して調節する。

【0078】順次、XYステージ164を移動していき、ウエハー163全体に電子ビーム162を照射する。ブロックの大きさはコンタクトホールに比べて非常に大きく、かつ、ブロックの周辺にはスクライブライン等回路の無い領域が広がっている。一般に、目合わせ精度を上げると目合わせをするために必要な時間が飛躍的に長くなるが、本実施形態のように、ブロック単位でコンタクトホールが正常に形成されているか否かの検査を

行う場合には、必要とされる目合わせ精度が、数10～数100ミクロンと低いので、非常に速く目合わせをすることが可能で、ウエハー163全体に電子ビーム162を当てるのに1分かからない時間で行うことができる。

【0079】サブブロックを検査する場合には、ブロック検査で最初に検査するように指定したサブブロックの中心座標と電子ビーム照射領域の中心とを一致させるように、XYステージ164を移動させ調整する。必要とされるサブブロックの目合わせ精度は約1ミクロンである。次いで、電子ビーム162をサブブロックに照射して貫通電流を測定する。次いで隣のサブブロックの中心座標と電子ビーム照射領域の中心とを一致させるようにXYステージ164を移動して調節する。

【0080】このように順次電子ビーム照射領域を移動していき、1つのブロック内のサブブロック全てに電子ビームを照射してそのブロックを貫通する貫通電流を測定する。

【0081】（実施形態11）図17は1枚のウエハーから、不良コンタクトホールの有無を段階的に検査するための手順を示す図である。検査に先立って、コンタクトホールの正常・不良を決定するためのしきい値を定める（ステップS1）。しきい値は、たとえば、1個の良品コンタクトホールが示す標準的な貫通電流値や、1つのチップ内に存在しても差し支えないコンタクトホールの不良数や、ウエハー内に存在してもよい不良チップの数などから定める。

【0082】良品コンタクトホール判定基準は、回路の構成や速度、配線のインピーダンスなど物理的な制約から一義的に決定される。一方、1つのチップ内で許容される不良コンタクトホールの個数は、半導体製品の回路冗長度から決まり、許容される不良チップ数は、製造コストが最低になるように調節されるべきパラメータであり、従来の生産実績などから妥当な値を選択する。

【0083】すなわち、たとえば、良好なコンタクトホールであっても、その良品コンタクトホールは、自然酸化膜等の影響で、何倍もコンタクトホールの抵抗値が変化することが知られているが、後工程での拡散効果などもあり、広範囲では不良コンタクトホールとはならない。

【0084】そこで、特定の半導体製品の特定の回路に用いられているコンタクトホールに関して、たとえば完全なコンタクトホールが示す貫通電流値の半分の値までは良品のコンタクトホールとみなすしきい値を設定する。これらの設定値は全て、判定装置に記憶されており、それぞれ比較して良否を決定する。

【0085】具体的な製品としてDRAMに含まれるコンタクトホールのしきい値設定について考える。DRAMに含まれるコンタクトホールには、いくつかの種類があるが、検査対象とされる良品コンタクトホールの貫通



電流値を50とし、許容率を50%とすると、検査によって得られる貫通電流は、25PAまでであるときには、良品ウエハーとする。

【0086】DRAMは回路冗長度を有し、通常、記憶素子の1%程度が不良であっても修復できるものである。したがって、1つのチップにある記憶素子中のコンタクトホールに不良が1個以上発生してもチップとしては不良でない。そこで、たとえば記憶素子部分に1%以上の不良が生じたらそのチップは不良というしきい値を設ける。1枚のウエハーには100個以上のDRAMチップが同時に作られるが、1枚当りの取れ数が一定値以下になると、1個のDRAMに対する製造コストが上昇する。

【0087】そこで、1枚のウエハー中のチップの取れ数が一定値以下の場合には、それをウエハー不良とみなして製造工程から外す。たとえば、そのしきい値を10%と設定する。以上のようにしきい値を設定して検査を開始する(ステップS2)。

【0088】まず、ウエハーの位置を測定して、ブロック位置と電子ビーム照射位置とを合わせる。各ブロックに順次電子ビームを一括照射する。このとき、検査の順番は、機械の不良特性を盛り込んで、ウエハーの端部から先に検査を行ったり、搬送機械が接触する場所を先に検査する。

【0089】各ブロックのコンタクトホールを貫通する貫通電流値は、ブロック中の1個のコンタクトホールを貫通する貫通電流量とブロックに含まれるコンタクトホール個数とから推定できるので、各ブロックの貫通電流量から各ブロック内の不良コンタクトホール割合を見積もることができる。

【0090】不良コンタクトホール数が10%を超えたものは不良ブロックとみなし(ステップS3)、そのチップ個数をカウントする。このカウント数が、全体数の10%を超えた場合、検査が途中であっても検査を中断し、このウエハーを不良ウエハーとみなして製造ラインからはずす。そうでないウエハーは製造ラインに戻される(ステップS4)。また、不良ウエハーを製造ラインからはずすときには、プロセス異常を知らせるため、警告音などの警告信号を発するようにすることもできる。

【0091】一方、ビットマップ取得を目的とする場合には(ステップS5)、前述の不良とみなされたブロックをさらに、サブブロックに分けて検査する。その検査によりさらに細かなウエハー上での不良分布が明らかになる。これらのデータは、サブブロック位置情報とともに記憶され検査出力となる。

【0092】さらに、細かい不良位置の特定を行う場合には、不良コンタクトホールが存在すると検査結果が出ているサブブロック内部にある、1つ1つのコンタクトホールに電子ビームを照射して、貫通電流量を測定し、

それぞれのコンタクトホールの良否を判定する(ステップS6)。また、その貫通電流値からそのコンタクトホール底に残存するシリコン酸化膜厚みを測定する。

【0093】上記のように、順次階層的に一括測定される領域の面積を小さくし、細かい場所の測定を行い、区分けしたブロックの大きさを反映したビットマップを作成する。必要に応じて、個々のコンタクトホールを測定し、コンタクトホール底に残存するシリコン酸化膜厚みを測定して(ステップS7)、より精密なコンタクトホールの状況を調べる。

【0094】なお、上記の実施形態では、ブロック形状は全て矩形である場合について説明したが、ブロックの形状は、この場合に限定されず、多角形、円形あるいは楕円形状でもよい。また、ブロックは、スクライブラインを含む構造となっていたが、スクライブライン状にはメインの回路とは異なったテストを行うためのTEG(test element group;特性評価用素子)が置かれることがあるので、それらが存在する場合には、それらを除外したり、それらを別のブロックに定義して検査する。

【0095】さらに、上記の実施形態で説明したような検査手法は、コンタクトホールの検査に留まらず、あらゆるウエハー上に形成されたデバイスの検査に利用できることはいうまでもない。また、分割して重み付けを行う方法は、それぞれの部分の検査出力Sがn個の部分からなる集合体を一括検査した場合に得られる検査出力Tが、 $S \times n$ で表される場合には本発明の手法が利用できる。

【0096】なお、本実施形態の半導体ウエハーの検査方法は、半導体ウエハーの検査に限定されず、SOI基板の検査方法にも適用できる。

【0097】

【発明の効果】本発明によると、半導体ウエハーを所望の複数の領域に区分けして、各領域ごとにいわゆる電流貫通法により、コンタクトホールが正常に形成されているか否かを検査するため、逐次全てのコンタクトホールを検査する場合よりも、短時間でコンタクトホールの検査を行うことができる。そのため、不良コンタクトホールを効率よく見つけることができ、検査のスループットを向上することができる。また、単位時間あたりに、多くのウエハーを検査できるため、精密な製造プロセス管理が実施できる。

【0098】なお、領域の大きさを半導体チップに搭載するメモリなどの半導体デバイスと同様の大きさにすることによって、フィーチャーサイズが異なる半導体デバイスごとに検査を行うことができ、上記と同様に短時間でコンタクトホールの検査を行うことができる。

【0099】また、本発明によると、上記の領域(第1の領域)よりさらに小さい複数の領域(第2の領域)に区分けして、各小さい領域ごとにいわゆる電流貫通法により、コンタクトホールが正常に形成されているか否か

を検査する。このため、第1の領域、第2の領域、個々のコンタクトホールというように段階的にコンタクトホールの検査をするので、効率よく検査ができ、短時間でコンタクトホールの検査を行うことができる。

【0100】さらに、第1の領域あるいは第2の領域に識別番号を付して、不良コンタクトホールが多いとされる領域から検査することにより、さらに、検査時間の短縮化を図ることができる。なお、不良コンタクトホールが多いとされる領域とは、たとえば、半導体ウエハーの端部や、半導体ウエハー搬送機とが接触する箇所に近い領域である。

【0101】また、半導体ウエハーに照射する電子ビームの位置情報と、前記半導体基板の位置情報と、半導体回路のレイアウト情報とから、検査対象となる領域を特定して、その領域に照射する電子ビームの照射量を領域中のコンタクトホールの数に応じて変更する。そのため、領域中のコンタクトホールの数が異なっても、単位コンタクトホール数に照射する電子ビーム量を統一することができる。そのため、領域ごとに検査を行っても、影響の少ない検査を行うことができる。

【0102】さらにまた、領域内のコンタクトホールを貫通する前記電子ビームの電流値に対応したビットマップを得ることにより、コンタクトホールを検査するときに貫通電流法を用いると、得られる検査量は連続量であるため、詳しい検査結果を得ることができる。

【0103】また、領域に占める不良コンタクトホールの割合がしきい値以上であるの場合に、その領域中のコンタクトホールの数を数えると共に、領域中のコンタクトホールの検査を終了する。さらに、プロセス変動量がしきい値を超えたとき、警告信号などによってプロセス異常を知らせることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態の検査方法を示す図

【図2】本発明の実施形態の検査方法の比較を示す図

【図3】本発明の第1の実施形態の複数ブロックに分けたウエハーを示す図

【図4】本発明の第1の実施形態の複数ブロックと貫通電流値との関係を示す図

【図5】本発明の第1の実施形態の複数ブロックに分けたウエハーと貫通電流値との関係を示す図

【図6】本発明の第2の実施形態の複数サブブロックに分けたウエハーを示す図

【図7】本発明の第2の実施形態の複数サブブロックと貫通電流値との関係を示す図

【図8】本発明の第2の実施形態の複数ブロックに分け

たウエハーと貫通電流値との関係を示す図

【図9】本発明の第3の実施形態の複数機能ブロックに分けたウエハーを示す図

【図10】本発明の第4の実施形態の電子ビーム照射装置を示す図

【図11】本発明の第5の実施形態の機能ブロックと貫通電流値との関係を示す図

【図12】本発明の第6の実施形態の電子ビームの照射量を変えるフローチャート

【図13】本発明の第7の実施形態のウエハーの中心部と端部とを示す図

【図14】本発明の第8の実施形態のウエハーの接触領域と非接触領域とを示す図

【図15】本発明の第9の実施形態のサブブロックとコンタクトホールとを示す図

【図16】本発明の第10の実施形態の電子ビーム走査装置を示す図

【図17】本発明の第11の実施形態の検査の順番を示すフローチャート

【符号の説明】

1、103、162 電子ビーム

3 コンタクトホール底

4、152 コンタクトホール

22 酸化膜表面

23 二次電子

24 コンタクトホール底

25 コンタクトホール底からの二次電子

31、105、163 ウエハー

32 ブロック

41 貫通電流値

62、72、151 サブブロック

101 電子銃

102 レンズ

104 可変アパチャー

106 電極

107 電流計

131 ウエハー中心部

132 ウエハー端部

141 接触領域

40 153 不良コンタクトホール

161 電子銃

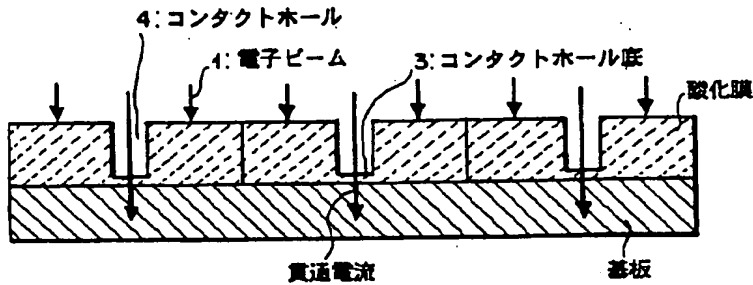
164 XYステージ

165 X軸ステッピングモータ

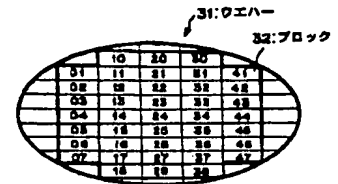
166 Y軸ステッピングモータ

167 真空チャンバー

【図1】

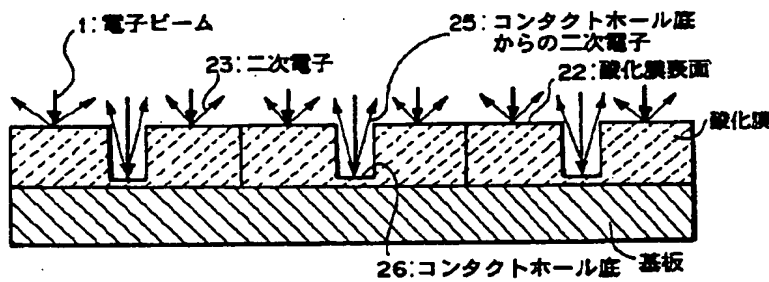


【図3】



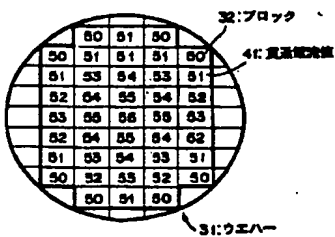
【図5】

【図2】

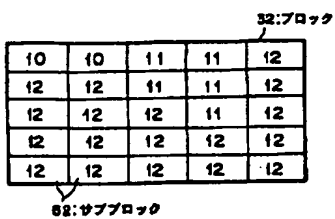


【図4】

【図6】



【図7】

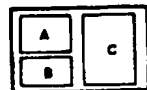


62: サブブロック

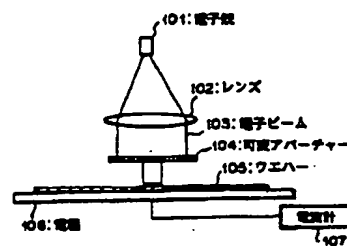
11	21	31	41	51
12	22	32	42	52
13	23	33	43	53
14	24	34	44	54
15	25	35	45	55

32: ブロック

【図9】



【図10】



電圧値	番号
56	24
55	14
55	23
55	25
55	34
54	13
54	15
54	22
54	26
54	33
54	35
53	03
53	12
53	16

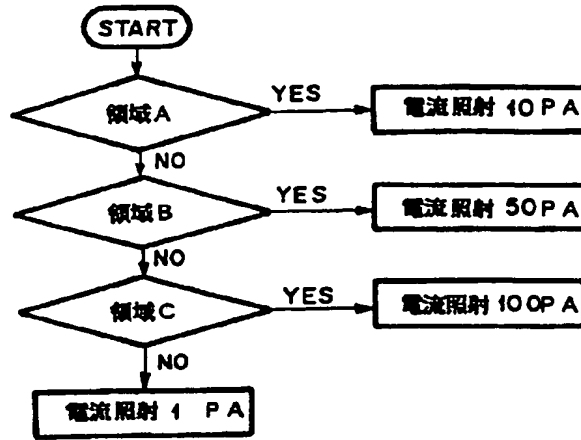
【図11】

ブロック名	照射電流値 (PA)
A	40
B	50
C	100

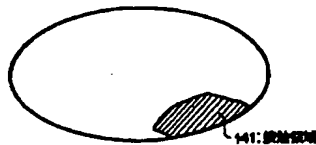
【図8】

電流値	番号
12	55
12	54
12	53
12	52
12	51
12	45
12	35
12	34
12	33
12	25
12	24
12	23
12	22
12	15
12	14
12	13
12	12
12	44
11	43
11	42
11	41
11	32
11	31
10	21
10	11

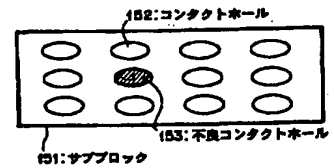
【図12】



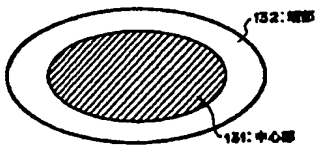
【図14】



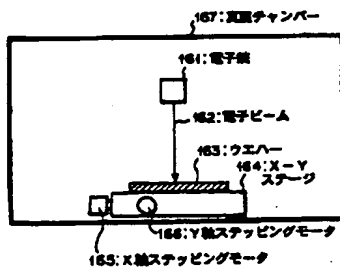
【図15】



【図13】



【図16】



【図17】

